

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Februar 2002 (28.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/16092 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B25J 17/02, 7/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03097

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. August 2001 (16.08.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 42 802.9 20. August 2000 (20.08.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): BERLINER ELEKTRONENSPEICHERING-GESELLSCHAFT FÜR SYNCHROTRONSTRAHLUNG M.B.H. [DE/DE]; Albert-Einstein-Strasse 15, 12489 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NOLL, Tino [DE/DE]; Grünauer Strasse 60, 12524 Berlin (DE). GUDAT, Wolfgang [DE/DE]; Goethestrasse 40, 14163 Berlin (DE). LAMMERT, Heiner [DE/DE]; Bodelschwingstrasse 17, 15831 Mahlow (DE).

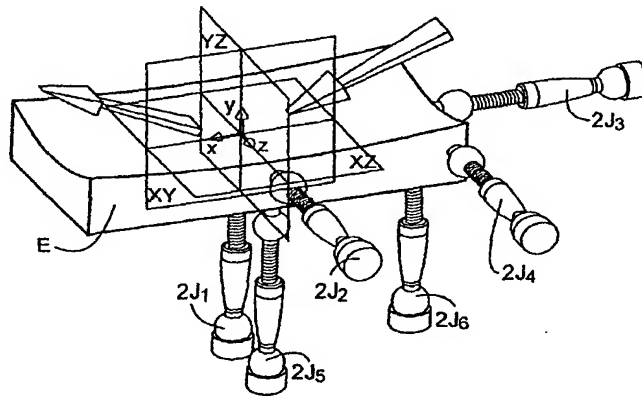
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR MULTI-AXIS FINE ADJUSTABLE BEARING OF A COMPONENT

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR MEHRACHSIG FEINJUSTIERBAREN LAGERUNG EINES BAUTEILS



WO 02/16092 A1

(57) Abstract: Known component bearings either use six parallel double-jointed members (hexapods) that while being adjustable with six degrees of freedom and high accuracy can only be adjusted in mutual dependency of one another, or double-jointed members that are mounted in series via connecting bodies and whose joints can be rotated about one axis, that allow only two rotational deflections, under error summation, and that meet in a virtual point as the point of origin of a Cartesian coordinate system. The aim of the invention is to design a bearing that allows a movement of the component in all six degrees of freedom in a highly accurate, reproducible manner while maintaining the axial rigidity of the component. To this end, six parallel double-jointed members (2J₁, 2J₂, 2J₃, 2J₄, 2J₅, 2J₆) comprising two joints (J₁, J₂) each that can be rotated about three axes are distributed in the coordinate planes (XY, XZ, YZ) in such a manner that the rotational (x_{rot}, y_{rot}, z_{rot}) and translational (x_{trans}, y_{trans}, z_{trans}) deflections can be achieved by adjusting, if possible, only one double-jointed member (2J₁, 2J₂, 2J₃, 2J₄, 2J₅, 2J₆) (defined adjustment). The joints (J₁, J₂) preferably used in the double-jointed members (2J₁, 2J₂, 2J₃, 2J₄, 2J₅, 2J₆) are flexible joints (J₁, J₂), especially elastic fiber joints. The inventive joints can be used in bearings of optical components, especially mirrors.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

(57) Zusammenfassung: Bekannte Bauteillagerungen benutzen entweder sechs parallel geschaltete Zweigelenkglieder (Hexapode), die zwar mit sechs Freiheitsgraden in hoher Genauigkeit, aber nur in Abhängigkeit voneinander zu verstellen sind, oder über Verbindungskörper in Reihe geschaltete Zweigelenkglieder mit einachsig drehbaren Gelenken, die unter einer Fehleraddition nur zwei rotatorische Auslenkungen zulassen und sich in einem virtuellen Punkt als Ursprungspunkt eines kartesischen Koordinatensystems treffen. Um eine Lagerung zu konzipieren, die mit höchster Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und axialer Steifigkeit eine Bewegung des Bauteils in allen sechs Freiheitsgraden ermöglicht, ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass sechs parallel geschaltete Zweigelenkglieder ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) mit je zwei dreiaxsig drehbaren Gelenken (J_1, J_2) so in den Koordinatenebenen (XY, XZ, ZY) verteilt angeordnet sind, dass die rotatorischen ($x_{rot}, y_{rot}, z_{rot}$) und translatorischen ($x_{trans}, y_{trans}, z_{trans}$) Auslenkungen jeweils unter Verstellung möglichst nur eines Zweigelenkgliedes ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) erzielbar sind („bestimmte Justierung“). Als Gelenke (J_1, J_2) in den Zweigelenkgliedern ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) wird bevorzugt flexible (J_1, J_2) Gelenke, insbesondere elastische Fasergelenke, eingesetzt. Mögliche Anwendungen sind Lagerungen für optische Bauelemente, insbesondere Spiegel.

Vorrichtung zur mehrachsigen feinjustierbaren Lagerung eines Bauteils.

Beschreibung

5

- Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur mehrachsigen feinjustierbaren Lagerung eines Bauteils für kleine Auslenkungen durch dessen mehrgliedrige Verbindung mit einem mehrgelenkigen Gestell mit zumindest vier, eine hohe
- 10 axiale Steife aufweisenden Zweigelenkgliedern, deren Mittelachse durch zwei, mit Abstand zueinander angeordnete und zumindest einachsig drehbare Gelenke verläuft und die in einem statischen Wirkzusammenhang zueinander so angeordnet sind, dass
- a) drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) einen virtuellen gemeinsamen
 - 15 Schnittpunkt (P) haben,
 - b) dieser Schnittpunkt (P) der Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems (x , y , z) ist,
 - c) zwei ($2J_1$, $2J_2$) der drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) gemäß Punkt a) mit ihren Mittelachsen (MA) in einer ersten Ebene (YZ) des Koordinatensystems
 - 20 (x , y , z) liegen,
 - d) das dritte ($2J_3$) der drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) gemäß Punkt a) mit seiner Mittelachse (MA) in einer zu der ersten Ebene (YZ) senkrechten zweiten Ebene (XY) des kartesischen Koordinatensystems liegt.
- 25 Ein Gestell mit einer derartigen Lagerung ist aus der **EP0665389** bekannt und kann der Lagerung von optischen Bauteilen, wie beispielsweise Linsen oder vornehmlich auch Spiegeln, mit einer Feinjustierbarkeit der Auslenkungen des Gestells bis zu 2° mit einer Einstellgenauigkeit von $1''$ dienen. Das mit der bekannten Vorrichtung zu lagernde Bauteil kann maximal um zwei Achsen
- 30 gedreht werden. Für die Drehung jeweils um eine Achse weist die Vorrichtung zwei schräg zueinander liegende Zweigelenkglieder auf, deren gedachte Verlängerung den Drehpol als virtuellen Schnittpunkt ergibt. Dieser

Schnittpunkt liegt bei der bekannten Lagerung in der oberen Oberfläche des zu lagernden Bauteils. Die beiden Zweigelenkglieder liegen in einer ersten Ebene, auf der die Drehachse entsprechend senkrecht steht. Wenn auch in der Beschreibung die Möglichkeit einer Lagerung über insgesamt drei Zweigelenk-

5 glieder zur Lagerung in zwei Drehachsen erwähnt wird, wird hierfür doch grundsätzlich eine Lagerung über vier Zweigelenkglieder bevorzugt, da diese leichter und exakter anzusteuern sei. Die beiden zweiten Zweigelenkglieder (respektive das dritte Zweigelenkglied) sind ebenfalls auf den Schnittpunkt ausgerichtet und liegen in einer zweiten Ebene, die senkrecht auf der ersten

10 Ebene steht. Damit ist die zweite Drehachse in einem statisch bestimmten System festgelegt bzw. ein kartesisches Koordinatensystem mit seinem Ursprung im Drehpol. Bei der bekannten Lagerung bleibt jedoch dessen dritte Achse unbeachtet, da maximal nur eine zweiachsig drehbare Lagerung realisiert werden soll.

15

Die in der **EP0665389** offenbarten Gelenke, die immer paarweise ein Zweigelenkglied bilden und an dessen gegenüberliegenden Enden angeordnet sind, sind einachsig gestaltet, sodass die für die hohe Einstellgenauigkeit erforderliche axiale Steifigkeit erreicht werden kann. Das führt jedoch dazu,

20 das die jeweils in einer Ebene angeordneten Zweigelenkglieder auch nur eine einachsige Auslenkung zulassen. Um nun eine zweiachsig drehbare Lagerung zu realisieren, sind bei der bekannten Vorrichtung deshalb die beiden ersten Zweigelenkglieder für die erste Drehrichtung mit den beiden zweiten Zweigelenkgliedern für die zweite Drehrichtung in einem statisch seriellen

25 Wirkzusammenhang zueinander angeordnet. Die Hintereinanderschaltung der entsprechenden Zweigelenkglieder wird dabei über einen relativ kompliziert aufgebauten Verbindungskörper als weiteres Konstruktionselement in dem bekannten Gestell erreicht, der zudem durch einen sphärisch geführten Linearmotor automatisch angesteuert werden muss. Dabei soll eine hohe

30 Kippdynamik in einem Bereich bis 400 Hz erreicht werden. Grundsätzlich sind Reihenschaltungen von Zweigelenkgliedern aber als nachteilig anzusehen, da sich dadurch eine Addition der an jedem Zweigelenkglied auftretenden

Justagefehler und eine Verminderung der für die hohe Einstellgenauigkeit erforderlichen axialen Steifigkeit des Gestells ergeben. Deshalb ist bei der bekannten Vorrichtung zumindest ein weiteres Zweigelenkglied vorgesehen, das in deren Längsachsenrichtung angeordnet ist und nur der axialen
5 Versteifung dient.

Reihenschaltungen der einzelnen Gelenkglieder sind auch noch aus verschiedenen anderen Druckschriften zum Stand der Technik bekannt. Hierbei handelt es sich in der Regel um Führungen in reihengeschalteten
10 Stapelanordnungen. Beispielsweise ist aus der **FR2761486** eine Vorrichtung zur Feinjustierung im μm -Bereich um maximal sechs Freiheitsgrade bekannt, die drei einzelne Türme mit jeweils drei einstellbaren Mikrometerschrauben aufweist. Mit den drei Türmen ist ein Support für das zu lagernde Bauteil verbunden, der relativ zu einem Rahmen sechsachsig feinjustierbar ist.
15 Weiterhin sind Vorrichtungen bekannt, die durch eine geeignete Anordnung von Kugellagern eine kardanische Lösung realisieren und durch eine Kombination mit Hubtischen und Goniometern mit sphärische Laufbahnen die Lagerung realisieren.

20 Als Vorrichtung für eine sechsachsige, axial steife Lagerung mit einem statisch parallelen Wirkzusammenhang zwischen den einzelnen Zweigelenken ist der sogenannte „Hexapode“ als klassische Ausführungsform beispielsweise aus der **FR2757440** bekannt. Hierbei handelt es sich um eine sechsbeinige Justieranordnung mit sechs längenverstellbaren Stäben, die in einem Kreis zickzackförmig angeordnet sind. Die Stäbe sind als Zweigelenkglieder mit jeweils einem
25 Kugellager an jedem Ende ausgeführt. Kugellager bergen jedoch eine Reihe von nicht immer tolerierbaren Nachteilen, wie beispielsweise stochastische Bewegungsfehler durch die herstellungsbedingten Formtoleranzen der aufeinander abwälzenden Kugeloberflächen und Laufbahnen, die eine
30 hochpräzise Reproduzierbarkeit der Einstellungen verhindern. Wird diese Unebenheit durch Schmierstoffe oder Beschichtungen ausgeglichen, sind solche Kugellager nur noch bedingt einsatzfähig, insbesondere für einen

Betrieb unter Vakuumbedingungen sind sie dann nicht mehr geeignet. Der größere Nachteil bei Verwendung von Hexapoden ist jedoch in dem komplizierten Zusammenwirken der einzelnen Zweigelenkglieder zur Erzielung der mehrachsigen Verstellungen zu sehen. Selbst für einachsige Verstellungen sind in der Regel alle sechs Zweigelenkglieder zu bewegen oder in ihrer Länge zu verstellen, wobei die sich bedingenden Abhängigkeiten nicht ohne Weiteres erkennbar sind. Eine manuelle Verstellung ist deshalb nur schwer möglich und wenn, nur unter Zuhilfenahme zuvor aufwändig erstellter Tabellenwerke. Als Abhilfe ist hier nur eine computerunterstützte automatische Steuerung anzusehen, für die jedoch umfangreiche und zeitaufwändige Computerprogramme erstellt werden müssen. Durch die automatische Steuerung, die insbesondere kostenintensiv ist, werden darüber hinaus zur Erzielung der Längenänderungen elektrisch betriebene Stellmotoren erforderlich, deren Wärmeeintrag in das Gesamtsystem sich aber empfindlich störend auswirken kann und damit unerwünscht ist.

Ausgehend von der zuerst genannten Druckschrift **EP0665389**, die den der Erfindung am nächsten liegenden Stand der Technik offenbart, ist es die **Aufgabe** für die vorliegende Erfindung, eine Vorrichtung zur feinjustierbaren mehrachsigen Lagerung eines Bauteils der oben genannten Art so weiterzubilden, dass das zu lagernde Bauteil in maximal sechs Freiheitsgraden um den Ursprung des kartesischen Koordinatensystems bewegbar ist. Dabei sollen die Auslenkungen ohne großen Aufwand an rechnerischen Vorgaben und anzusteuern den Antrieben realisierbar und möglichst weitgehend unabhängig voneinander einfach ausführbar sein. Die Anzahl der erforderlichen Stellbewegungen soll möglichst gering gehalten werden. Die axiale Steifigkeit der Lagerung soll erhalten bleiben. Mit einem möglichst geringen Kostenaufwand soll eine besonders feinfühlig verstellbare, hochgenaue und schwingungsbeständige mechanische Lagerung realisiert werden.

Als **Lösung** für diese Aufgabe ist bei der Erfindung vorgesehen, dass das Gestell für eine dreiachsige, in maximal sechs möglichen kartesischen Achsen

feinjustierbare Lagerung des Bauteils sechsgelenkig mit sechs, dreiachsige Gelenke aufweisenden Zweigelenkgliedern ausgeführt ist und alle Zweigelenkglieder in einem statisch parallelen Wirkzusammenhang zueinander angeordnet sind, wobei

- 5 e) das vierte Zweigelenkglied mit seiner Mittelachse ebenfalls in der zweiten Ebene liegt,
- f) ein fünftes Zweigelenkglied vorgesehen ist, das mit seiner Mittelachse ebenfalls in der ersten Ebene liegt, und
- g) ein sechstes Zweigelenkglied vorgesehen ist, das mit seiner Mittelachse in
10 der von dem kartesischen Koordinatensystem aufgespannten dritten Ebene liegt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird in ihrer prinzipiell allgemeinen Form charakteristisch beschrieben durch eine Anordnung von sechs Zweigelenkgliedern zu Erzeugung einer dreiachsigen Auslenkung in einem kartesischen
15 Koordinatensystem, das heißt um insgesamt maximal sechs kartesische Achsen (drei rotatorische, drei translatorische). Die grundlegende Annahme zur Realisierung geht davon aus, dass für kleine Rotationen eines strebenbasierten Systems die Rotationsachsen durch den theoretischen
20 Schnittpunkt der Streben definiert werden. Dadurch ist die Wirkweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung äußerst einfach, die einzelnen Auslenkungen, die sich gegenseitig nur äußerst gering beeinflussen, können durch manuelle Verstellung von einem bis höchstens drei Zweigelenkgliedern erreicht werden, wobei bestimmte Auslenkrichtungen entsprechend bevorzugt werden können.

25 Die Lagerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist statisch eindeutig bestimmt und in einem besonderen Maße axial stabil und schwingungsfest. Dadurch können höchste Einstellgenauigkeiten erreicht werden. Zu einer weiteren Verbesserung dieser Genauigkeiten trägt auch der statisch parallele Wirkzusammenhang zwischen den sechs Zweigelenkgliedern bei. Durch deren
30 Parallelschaltung werden auftretende Fehler stochastischer und auch systematischer Natur nicht aufaddiert, sodass der Gesamtfehler relativ gering

bleibt. Vorbestimmte Einstellungen können spielfrei und mit höchster Genauigkeit reproduziert werden.

Das erste, zweite und dritte Zweigelenkglied bilden eine erste Gruppe aus
5 Zweigelenkgliedern, die den Ursprung eines kartesischen Koordinatensystem
und die Ausrichtung der drei kartesischen Ebenen festlegen. Dabei werden
zwei Ebenen durch die Lage der Zweigelenkglieder bestimmt, die dritte Ebene
ergibt sich automatisch aus der Orthogonalitätsbedingung im Ursprung, sodass
in dieser Ebene kein Zweigelenkglied aus der ersten Gruppe liegt. Das vierte,
10 fünfte und sechste Zweigelenkglied bilden eine zweite Gruppe aus Zweigelenk-
gliedern, die jeweils in einer der drei Ebenen liegen. Ihre Anordnung ist
relevant für die zu erzielenden Auslenkungen. Liegen die Zweigelenkglieder
mit beliebiger, aber natürlich technisch sinnvoller Orientierung in den Ebenen,
ergeben sich kombinierte Auslenkungen, die unter Umständen gar nicht
15 erforderlich sind.

Deshalb ist es nach Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung
besonders sinnvoll und vorteilhaft, wenn zur Erzeugung von rotatorischen
Auslenkungen zumindest ein Zweigelenkglied aus der von dem vierten, fünften
20 und sechsten Zweigelenkglied gebildeten zweiten Gruppe mit einem
definierten Abstand zum Ursprung des kartesischen Koordinatensystems
angeordnet ist oder wenn zur Erzeugung von translatorischen Auslenkungen
zumindest ein Zweigelenkglied aus der von dem vierten, fünften und sechsten
Zweigelenkglied gebildeten zweiten Gruppe parallel zu jeweils einem
25 Zweigelenkglied aus der von dem ersten, zweiten und dritten Zweigelenkglied
gebildeten ersten Gruppe angeordnet ist. Für rotatorische Auslenkungen wird
auf diese Weise ein Hebelarm erzeugt, der direkt manuell genutzt wird oder
auch der Befestigung eines Antriebs dienen kann. Bei der translatorischen
Beweglichkeit werden durch die vorgesehene Anordnung der weiteren
30 Zweigelenkglieder Parallelogramme erzeugt, die eine Parallelverschiebung der
entsprechenden Körperkanten ermöglichen. Auf die weitere Wirkungsweise
von solchermaßen angeordneten Zweigelenkgliedern soll an dieser Stelle nicht

weiter eingegangen werden, zu Vermeidung von Wiederholungen wird statt dessen auf die Ausführungsbeispiele im speziellen Beschreibungsteil verwiesen.

- 5 Für die erfindungsgemäße Vorrichtung können die unterschiedlichsten Anwendungen vorgesehen sein. Eine häufige Anwendung wird die Lagerung eines Kippspiegels sein, um einen auf dessen Oberfläche auftreffenden Lichtstrahl so genau reflektieren zu können, dass selbst in einer Entfernung von 20 m bis 30 m noch eine punktgenaue Justage mit höchster Genauigkeit
- 10 möglich ist. Gerade aber bei Anwendungen mit optischen Bauteilen, die in Interaktion mit Lichtstrahlen stehen, ist es wichtig, dass diese nicht durch weitere Konstruktionselemente, insbesondere eben auch der Lagerung des Bauelements, behindert werden. Deshalb ist bei einer nächsten Erfindungsausgestaltung vorteilhaft vorgesehen, dass die Zweigelenkglieder geringfügig
- 15 aus den drei Ebenen des kartesischen Koordinatensystems versetzt angeordnet sind. Eine Änderung im Wirkprinzip der Lagerung der erfindungsgemäße Vorrichtung wird dadurch nicht hervorgerufen. Der Anwender ist jedoch in der Lage, die Anordnung der einzelnen Zweigelenkglieder in einem gewissen Umfang zu modifizieren. Dies soll mit dem Begriff „geringfügig“
- 20 ausgedrückt werden, da eine Angabe in mm hier wegen der Abhängigkeit von anderen Konstruktionsparametern nicht sinnvoll erscheint. Wichtig ist, dass das jeweilige Zweigelenkglied nur so weit aus der entsprechenden Ebene herausgenommen wird, dass der Lichtstrahl nicht abgeschattet wird. Weiterhin kann dadurch die Montierbarkeit der einzelnen Zweigelenkglieder erleichtert
- 25 werden. Aus dem Stand der Technik bekannte Maßnahmen wie die Schaffung einer freien Zugänglichkeit von der Bauteilunterseite oder konstruktive Ausnehmungen in „störenden“ Bauteilen sind bei der Erfindung nicht erforderlich.
- 30 Eine weitere Modifikation der Anordnung der einzelnen Zweigelenkglieder bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist möglich, wenn nach einer nächsten Erfindungsausgestaltung die Anordnung der sechs Zweigelenkglieder in dem

sechsgelenkigen Gestell zusätzlich an die Abmessungen des zu lagernden Bauteils angepasst ist. Auch hier wird das Wirkprinzip der Anordnung nicht verändert. Da aber bei dem Verteilungsschema der einzelnen Zweigelenkglieder eine Ebene auftreten kann, in der nur ein Zweigelenkglied angeordnet ist, ist es beispielsweise bei flachen, rechteckigen Bauteilen (Spiegel) möglich, diese Ebene auf die schmale Stirnseite des Bauteils zu legen. Probleme der Lagerung der Zweigelenkglieder sind damit vermieden. Dabei wird gemäß einer nächsten Erfindungsausgestaltung vorausgesetzt, dass die Bauteilachsen coaxial zu den kartesischen Achsen ausgerichtet sind.

5
10 Eine solche Zuordnung, zu der die parallele Zuordnung zählt, zu den einzelnen Ebenen und Achsen des kartesischen Koordinatensystem verschafft eine größere Übersichtlichkeit bei der Zuordnung der Elemente und der zu erzielenden Auslenkungen. Sie ist aber durchaus nicht immer erforderlich oder möglich. Beispielsweise können auch Quader über eine Spitze oder Kugeln
15 gelagert werden.

Die aus dem der Erfindung zunächst liegenden Stand der Technik bekannten Zweigelenkglieder sind konstruktiv nicht veränderlich und einachsig aufgebaut, das heißt, sie erlauben eine Kippung nur entlang einer Achse, um die hohe geforderte axiale Steifigkeit zu gewährleisten. Die Kippwinkel werden durch Verschiebung der gesamten Zweigelenkglieder über einen zentralen Antrieb, der auf einer Kugelschale geführt wird, erreicht. Wichtig für diese Anwendung ist jedoch vor allem auch die hohe zu erreichende Dynamik der Kippbewegung mit bis zu 400 Verstellungen pro Sekunde. Bei Anwendungen, die jedoch darauf ausgelegt sind, möglichst wenige Verstellungen vornehmen zu müssen, um den gesamten Aufbau möglichst wenig zu stören, kann es dagegen vorteilhaft wenn, wenn nach einer weiteren Fortführung der Erfindung die Zweigelenkglieder entlang ihrer Mittelachse längenveränderlich aufgebaut sind. Dies kann beispielsweise durch eine Spindelkonstruktion realisiert werden, die den Vorteil einer hohen axialen Steifigkeit aufweist. Bei einer solchen Konstruktion ist es dann möglich, dass gemäß einer nächsten Erfindungsausgestaltung für jede Auslenkung bezüglich einer der sechs kartesischen

20
25
30

Achsen eine eigene Einrichtung zur Längenänderung oder Verschiebung der Gelenke oder Zweigelenkglieder vorgesehen ist. Hierbei kann es sich dann um die erwähnten Spindeln handeln. Die einzelnen Zweigelenkglieder können aber auch in dem Gestell verschieblich gelagert sein, beispielsweise über
5 Mikrometerschrauben.

Die dreichachsig drehbare Auslegung der Gelenke ermöglicht die einfachen Auslenkmöglichkeiten der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei einer Parallelanordnung aller Zweigelenkglieder in der Lagerung. Dabei ist jedoch darauf zu
10 achten, dass die Gelenke auch die an sie gestellten Anforderungen erfüllen. Eine Verwendung von Kugellagern als klassische dreiachsige Gelenke birgt die bereits eingangs erwähnten Nachteile, insbesondere den hohen stochastischen topographischen Fehler durch die unebenen Abwälzflächen und die häufige Untauglichkeit für einen Betrieb im Vakuum. Gleiches gilt für
15 kardanische Anordnungen aus rotatorischen Kugel- oder Gleitlagern sowie kugelförmigen Einsätzen, die in umhüllenden Gehäusen gelagert werden. Deshalb können nach einer anderen Erfindungsausgestaltung die dreiachsigen Gelenke als flexible Gelenke ausgebildet sein. Dabei muss die axiale Steifigkeit der Lagerung gewährleistet sein. Flexible Gelenke sind an sich
20 bekannt und erfüllen die an sie gestellten Bedingungen. Ausführungsformen solcher Gelenke umfassen Blattfedergelenke, die auch über Kreuz angeordnet sein können, Kreuzfedergelenke und Festkörpergelenke. Hierbei handelt es sich um monolithische Lösungen mit entsprechenden Materialeinschnürungen.

25 Besonders vorteilhaft ist es, wenn nach einer nächsten Erfindungsausgestaltung das flexible Gelenk als elastisches Fasergelenk mit zwei starren, als Fassungen ausgebildeten Gelenkenden und einem kurzen Stück Fasermaterial als dazwischen liegendem Verformungsbereich ausgebildet ist. Insbesondere kann nach einer weiteren Ausgestaltung das Fasermaterial als
30 Stahlseil ausgebildet sein. Ein derartiges elastisches Fasergelenk ist einfach in seinem Aufbau und in seiner Fertigung. Durch die Existenz von geeigneten Halbzeugen werden konstruktive Vorgaben, die nur über eine

Materialbearbeitung zu erreichen sind (Einschnürungen) vermieden. Es verbindet die Vorteile der Biegeelenke (Spielfreiheit, Reproduzierbarkeit, Vakuumtauglichkeit) mit der dreiachsigen Beweglichkeit von klassischen Kugelgelenken. Die axiale Steifigkeit ist sehr hoch gegenüber monolithischen, biegsamen Bauelementen. Mit dem Verhältnis der freiliegenden Länge des Fasermaterials zwischen den Gelenkenden zu seinem Durchmesser werden die möglichen Biegewinkel bestimmt. Mit dem Querschnitt des Fasermaterials werden die Belastbarkeit sowie die axiale Zug- und Drucksteifigkeit festgelegt. Durch den gefaserten Aufbau des Verformungsbereichs zerbricht das Fasergelenk bei einer Überbeanspruchung nicht plötzlich, sondern zeigt Ermüdungserscheinungen in Form eines allmählichen Ausfaserns des Fasermaterials. Das Fasergelenk kann somit immer rechtzeitig vor einem Schaden ausgewechselt werden. Bei einer großen Überbelastung kann das Fasergelenk zwar ausknicken oder ausquetschen, es hält aber die Gelenkenden zusammen, sodass die Verbindung an sich erhalten bleibt. Auch hierdurch kann großer Schaden vermieden werden. Eine weitere Erhöhung der axialen Steifigkeit erhält man, wenn das Fasermaterial aus einer Vielzahl von dünnen Einzelfasern besteht, die miteinander verdreht oder verflochten sind. Insbesondere kann dann das Fasermaterial in Form eines Stahlseils ausgebildet sein. Derartige Stahlseile sind preiswert und vorkonfektioniert in einer großen Anzahl von unterschiedlichen Ausführungen (z.B. als Bowdenzug), Abmessungen und Materialien zu erhalten. Weiterhin kann bei derartigen elastischen Fasergelenken vorgesehen sein, dass das Fasermaterial durch Einklemmung, Einsteckung oder Einklebung mit den Gelenkenden fest verbunden ist. Derartige einfache Verbindungstechniken unterstützen die einfache Herstellbarkeit eines solchen Fasergelenks und gewährleisten einen sicheren Betrieb.

Ausbildungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der schematischen Figuren näher erläutert. Dabei zeigt :

- Figur 1** ein prinzipielles Anordnungsschema der sechs Zweigelenkglieder als Detail der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Figur 2** das Anordnungsschema gemäß Figur 1 in einer vereinfachten räumlichen Darstellung
- 5 **Figur 3** eine orthogonale Anordnung der sechs Zweigelenkglieder als Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Figur 4** die Anordnung gemäß Figur 3 in einer vereinfachten räumlichen Darstellung und
- Figur 5** eine Ansteuerungsmatrix für die Anordnung gemäß Figuren 3 und 4.
- 10

Die **Figur 1** zeigt einen an seiner oberen Oberfläche **S** konkav geformten Spiegel als Bauteil **E**, das als Sechsgelenkglied ausgeführt ist. Diese Relation entsteht dadurch, dass das Bauteil **E** in einem sechsgelenkigen Gestell durch

15 sechs Zweigelenkglieder **2J₁**, **2J₂**, **2J₃**, **2J₄**, **2J₅** und **2J₆** gelagert ist. In der **Figur 1** ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die jeweilige Verbindungsstelle der sechs Zweigelenkglieder **2J₁**, **2J₂**, **2J₃**, **2J₄**, **2J₅** und **2J₆** mit dem Bauteil **E** (grau hinterlegt) zu dessen Lagerung dargestellt. Die zweite Lagerung in dem sechsgelenkigen Gestell erfolgt jeweils an den gegen-

20 überliegenden Enden der sechs Zweigelenkglieder **2J₁**, **2J₂**, **2J₃**, **2J₄**, **2J₅** und **2J₆**. Ein entsprechend geformtes Gestell (in der Figur durch eine Strichlierung angedeutet) kann jede konstruktiv mögliche Struktur aufweisen und entspricht den allgemeinen technischen Erkenntnissen für derartige Gestelle. Alle sechs Zweigelenkglieder **2J₁**, **2J₂**, **2J₃**, **2J₄**, **2J₅** und **2J₆** sind statisch parallel

25 zueinander zwischen dem Gestell und dem zu lagern den Bauteil **E** angeordnet.

Diese allgemeine Anordnung ist auch in einer anderen Konstellation zu Lagerung eines einen Absatz aufweisenden Bauteils **E** in der **Figur 2** dargestellt. Für eine bessere Anschauung wurden hier jedoch die meisten

30 Hilfslinien und Ebenen sowie Bezugszeichen für Details aus der **Figur 1** weggelassen. Lediglich die sechs Zweigelenkglieder **2J₁**, **2J₂**, **2J₃**, **2J₄**, **2J₅** und

$2J_6$ und das Koordinatensystem x, y, z im Schnittpunkt P sind dargestellt. Zu sehen ist in dieser **Figur 2** jedoch, dass zwei Zweigelenkglieder $2J_1, 2J_2$, die den Schnittpunkt P mitbilden, nicht ortsveränderlich ausgebildet sind. Sie dienen der Bauteilfixierung, eine Translationsbewegung des Bauteils in
5 Richtung der y - und z -Achsen ist hier nicht vorgesehen. Die möglichen Bewegungen sind eingetragen.

Die Zweigelenkglieder $2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5$ und $2J_6$ weisen jeweils zwei Gelenke J_1 und J_2 an ihren gegenüberliegenden Seiten auf, durch die eine
10 Mittelachse MA verläuft. Sie sind axial, das heißt entlang ihrer Mittelachse MA steif ausgeführt und weisen im gewählten Ausführungsbeispiel eine Längenverstellung L auf. Die Gelenke J_1, J_2 sind außerdem dreiaxsig ausgeführt, im gewählten Ausführungsbeispiel sind symbolisch Kugelgelenke angedeutet. In realen Ausführungen sind hier flexible Gelenke, insbesondere elastische
15 Fasergelenke mit einem Stahlseil als Biegebereich, zu bevorzugen.

Die drei Zweigelenkglieder $2J_1, 2J_2$ und $2J_3$ bilden eine erste Gruppe und sind so angeordnet, dass sie einen virtuellen gemeinsamen Schnittpunkt P in der Oberfläche S des zu lagenden Bauteils E haben. In diesen Schnittpunkt P ist
20 der Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems mit den Achsen x, y und z und zueinander entsprechend orthogonal ausgerichteten Ebenen XY, XZ und YZ hineingelegt. Die Achsenbezeichnungen des Koordinatensystems sind jedoch austauschbar, die Orientierung erfolgt im gewählten Ausführungsbeispiel entlang der Körperkanten des Bauteils E . Die beiden Zweigelenk-
25 glieder $2J_1$ und $2J_2$ liegen mit ihren Mittelachsen MA in einer ersten Ebene YZ des Koordinatensystems. Das dritte Zweigelenkglied $2J_3$ liegt mit seiner Mittelachse MA in der zweiten Ebene XY des Koordinatensystems, dessen Ausrichtung in allen drei Ebenen und somit auch in der dritten Ebene XZ festgelegt ist.

Eine zweite Gruppe wird von den drei Zweigelenkgliedern $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$ gebildet, von denen das vierte Zweigelenkglied $2J_4$ mit seiner Mittelachse **MA** ebenfalls in der zweiten Ebene **XY** angeordnet liegt. Gleichzeitig liegt das fünfte Zweigelenkglied $2J_5$ mit seiner Mittelachse **MA** ebenfalls in der ersten Ebene **YZ**. Damit ist die erste Ebene **YZ** insgesamt mit drei Zweigelenkgliedern $2J_1$, $2J_2$ und $2J_5$ und die zweite Ebene **XY** mit zwei Zweigelenkgliedern $2J_3$ und $2J_4$ besetzt. In der dritten Ebene **XZ** liegt schließlich das sechste Zweigelenkglied $2J_6$ mit seiner Mittelachse **MA**, sodass diese Ebene **XZ** nur mit einem Zweigelenkglied besetzt ist. Je nach Anzahl der eingelagerten Zweigelenkglieder können damit die Ebenen als Angriffsflächen der Lager unterschiedliche Größen aufweisen und an die geometrischen Oberflächen **S** des zu lagern den Bauteils **E** angepasst werden. Eine geringe Bauteilabmessung kann also bevorzugt in Richtung der **y**-Achse gelegt werden, zu der nur das sechste Zweigelenkglied $2J_6$ senkrecht angeordnet ist.

Eine ähnliche Anordnung ist in der **Figur 3** aufgezeigt. Hierbei handelt es sich um den Ausführungsfall, dass alle Zweigelenkglieder $2J_1$, $2J_2$, $2J_3$, $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$ orthogonal zueinander angeordnet sind. Das Bauteil **E** weist hier die Form eines flachen Quaders auf, im realen Anwendungsfall kann es sich hierbei beispielsweise um einen Kippspiegel mit einer konkaven Oberfläche **S** handeln. Der Kippspiegel **E** ist im Ausführungsbeispiel so gelagert, dass seine Bauteilabmessung **ES** in **y**-Achsrichtung liegt. Die Bauteilachsen **EA** liegen damit koaxial zu den kartesischen Achsen **x**, **y**, **z**. Zur Erzeugung von rotatorischen Auslenkungen, im dargestellten Ausführungsbeispiel sind Rotationen um alle drei Achsen x_{rot} , y_{rot} , z_{rot} möglich, sind alle drei Zweigelenkglieder $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$ der zweiten Gruppe mit einem definierten Abstand R_1 , R_2 und R_3 (Hebelarm) zum Ursprung **P** des kartesischen Koordinatensystems angeordnet. Dieser Abstand kann als Rotationsradius **R** bezeichnet werden und ist unter Berücksichtigung der statischen Mechanik frei wählbar. Die Zweigelenkglieder $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$ liegen dann tangential am entsprechenden Rotationskreis. Diese Kreise den drei kartesischen Ebenen

des Bauteils **E** ergeben umlaufende theoretische Linien, entlang der das entsprechende Zweigelenkglied überall angeordnet werden kann, damit eine Rotation (im oder entgegen dem Uhrzeigersinn) um die auf der Ebene des Rotationskreises senkrecht stehende entsprechende Rotationsachse zu erzeugen (vergleiche auch **Figur 1**).

Weiterhin sind translatorischen Auslenkungen, im in der **Figur 3** dargestellten Ausführungsbeispiel entlang aller drei Achsen x_{trans} , y_{trans} , z_{trans} möglich. Alle diese drei Zweigelenkglieder $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$ der zweiten Gruppe sind außerdem zusätzlich parallel oder senkrecht zu den Translationen entlang der Achsen x_{trans} , y_{trans} , z_{trans} angeordnet. Dadurch entstehen Parallelogramme, die eine entsprechende Parallelverschiebung bzw. Translation der Bauteilseiten entlang der kartesischen Achsen x_{trans} , y_{trans} , z_{trans} bewirken.

In der **Figur 4** ist wiederum eine vereinfachte perspektivische Darstellung der Zweigelenkkonstellation gemäß **Figur 3** zur Lagerung eines Bauteils **E** dargestellt. Im hier dargestellten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Bauteil **E** um einen konkaven Kippspiegel, der einen einfallenden Lichtstrahl hochgenau reflektiert. Für eine bessere Anschauung wurden hier wiederum die meisten Hilfslinien und Ebenen sowie Bezugszeichen für Details aus der **Figur 3** weggelassen. Gezeigt sind sechs Zweigelenke $2J_1$, $2J_2$, $2J_3$, $2J_4$, $2J_5$ und $2J_6$, die einer Lageveränderung des Bauteils **E** in allen sechs kartesischen Achsen x_{trans} , y_{trans} , z_{trans} , x_{rot} , y_{rot} , z_{rot} dienen. Die angedeuteten Kugelgelenke dienen der Versinnbildlichung der dreiachsig drehbaren Gelenkigkeit, ebenso sollen die dargestellten Längenveränderungen nur die Verschiebbarkeit der Angriffspunkte an das Bauelement **E** andeuten.

Der **Figur 5** ist eine Tabelle zu entnehmen. In der dargestellten Ansteuerungsmatrix ist aufgezeigt, welche Zweigelenkglieder angesteuert werden müssen, um Auslenkungen mit jedem der maximal sechs möglichen Freiheitsgrade hervorrufen zu können. Deutlich zu erkennen ist, dass

Rotationen um alle drei rotatorischen Achsen x_{rot} , y_{rot} , z_{rot} jeweils durch Verstellung oder Verschiebung nur eines einzigen Zweigelenkgliedes $2J_4$, $2J_5$, $2J_6$ bewirkt werden können. Auch die Translation in x -Richtung wird ausschließlich durch die Bewegung des Zweigelenkgliedes $2J_3$ hervorgerufen.

- 5 Diese Auslenkungen sind also äußerst einfach und reproduzierbar mit höchster Präzision durch manuelle oder automatische Betätigung jeweils nur eines Antriebes erreichbar. Von Bedeutung ist hierbei noch, dass Rotationen auf die Bauteilpositionierung einen sehr viel größeren Einfluss haben als Translationen, insbesondere bei einem Spiegel. Die Translation in die z -Richtung
- 10 erfordert die Verstellung von zwei Zweigelenkgliedern $2J_2$, $2J_4$ um den gleichen Betrag, was sicherlich immer noch als einfache Verstellbarkeit bezeichnet werden kann. Maximal müssen drei Zweigelenkglieder $2J_1$, $2J_5$, $2J_6$ um den gleichen Betrag verstellt werden, um eine Translation in die y -Richtung zu erzielen.

15

Bezugszeichenliste

	E	Bauteil
	EA	Bauteilachse
20	ES	geringe Bauteilabmessung von E
	S	Oberfläche von E
	J_m	Gelenk ($m = 1,2$)
	2J_n	Zweigelenkglied ($n = 1,2,3,4,5,6$)
	L	Längenverstellung von J _m
25	MA	Mittelachse von J _m
	P	virtueller gemeinsamer Schnittpunkt (Ursprung)
	R	Rotationsradius
	R₁, R₂, R₃	definierter Abstand zum Ursprung P (Hebelarm)
	x,y, z	Achsen des kartesischen Koordinatensystems
30	x_{rot}, y_{rot}, z_{rot}	Achsen als Rotationsachsen
	x_{trans}, y_{trans}, z_{trans}	Achsen als Translationsachsen
	XY, XZ, YZ	Ebenen des kartesischen Koordinatensystems

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur mehrachsige feinjustierbaren Lagerung eines Bauteils für
5 kleine Auslenkungen durch dessen mehrgliedrige Verbindung mit einem mehrgelenkigen Gestell mit zumindest vier, eine hohe axiale Steife aufweisenden Zweigelenkgliedern, deren Mittelachse durch zwei, mit Abstand zueinander angeordnete und zumindest einachsige drehbare Gelenke verläuft und die in einem statischen Wirkzusammenhang zueinander so angeordnet sind, dass
- 10 a) drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) einen virtuellen gemeinsamen Schnittpunkt (P) haben,
b) dieser Schnittpunkt (P) der Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems (x, y, z) ist,
c) zwei ($2J_1$, $2J_2$) der drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) gemäß Punkt a) mit
15 ihren Mittelachsen (MA) in einer ersten Ebene (YZ) des Koordinatensystems (x, y, z) liegen,
d) das dritte ($2J_3$) der drei Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$) gemäß Punkt a) mit seiner Mittelachse (MA) in einer zu der ersten Ebene (YZ) senkrechten zweiten Ebene (XY) des kartesischen Koordinatensystems liegt,
- 20 **dadurch gekennzeichnet, dass**
das Gestell für eine dreiachsige, in maximal sechs möglichen kartesischen Achsen (x_{rot} , y_{rot} , z_{rot} , x_{trans} , y_{trans} , z_{trans}) feinjustierbare Lagerung des Bauteils (E) sechsgelenkig mit sechs, dreiachsige drehbaren Gelenke (J_1 , J_2) aufweisenden Zweigelenkgliedern ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$, $2J_4$, $2J_5$, $2J_6$) ausgeführt ist
25 und alle Zweigelenkglieder ($2J_1$, $2J_2$, $2J_3$, $2J_4$, $2J_5$, $2J_6$) in einem statisch parallelen Wirkzusammenhang zueinander angeordnet sind, wobei
e) das vierte Zweigelenkglied ($2J_4$) mit seiner Mittelachse (MA) ebenfalls in der zweiten Ebene (XY) liegt,
f) ein fünftes Zweigelenkglied ($2J_5$) vorgesehen ist, das mit seiner Mittelachse
30 (MA) ebenfalls in der ersten Ebene (YZ) liegt, und

g) ein sechstes Zweigelenkglied ($2J_6$) vorgesehen ist, das mit seiner Mittelachse (MA) in der von dem kartesischen Koordinatensystem (x, y, z) aufgespannten dritten Ebene (XZ) liegt.

5 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

zur Erzeugung von rotatorischen Auslenkungen ($x_{rot}, y_{rot}, z_{rot}$) zumindest ein Zweigelenkglied ($2J_4, 2J_5, 2J_6$) aus der von dem vierten, fünften und sechsten Zweigelenkglied ($2J_4, 2J_5, 2J_6$) gebildeten zweiten Gruppe mit einem
10 definierten Abstand (R_1, R_2, R_3) zum Ursprung (P) des kartesischen Koordinatensystems (x, y, z) angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

15 zur Erzeugung von translatorischen Auslenkungen ($x_{trans}, y_{trans}, z_{trans}$) zumindest ein Zweigelenkglied ($2J_4, 2J_5, 2J_6$) aus der von dem vierten, fünften und sechsten Zweigelenkglied ($2J_4, 2J_5, 2J_6$) gebildeten zweiten Gruppe parallel zu jeweils einem Zweigelenkglied ($2J_1, 2J_2, 2J_3$) aus der von dem ersten, zweiten und dritten Zweigelenkglied ($2J_1, 2J_2, 2J_3$) gebildeten ersten Gruppe
20 angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Zweigelenkglieder ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) geringfügig aus den drei Ebenen (XY, XZ, ZY) des kartesischen Koordinatensystems (x, y, z) versetzt angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Anordnung der sechs Zweigelenkglieder ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) in dem
sechsgelenkigen Gestell zusätzlich an die Abmessungen des zu lagernden
5 Bauteils (E) angepasst ist.
6. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Bauteilachsen (EA) coaxial zu den kartesischen Achsen (x, y, z)
10 ausgerichtet sind.
7. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
der virtuelle gemeinsame Schnittpunkt (P) als Ursprung des kartesischen
15 Koordinatensystems (x, y, z) in der Oberfläche (S) des zu lagernden Bauteils
(E) liegt.
8. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 die Zweigelenkglieder ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4, 2J_5, 2J_6$) entlang ihrer Mittelachse
(MA) längenveränderlich (L) aufgebaut sind.
9. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
25 für jede Auslenkung bezüglich einer der sechs kartesischen Achsen ($x_{\text{rot}}, y_{\text{rot}},$
 $z_{\text{rot}}, x_{\text{trans}}, y_{\text{trans}}, z_{\text{trans}}$) eine eigene Einrichtung zur Längenänderung (L) oder
Verschiebung der Gelenke (J_1, J_2) oder Zweigelenkglieder ($2J_1, 2J_2, 2J_3, 2J_4,$
 $2J_5, 2J_6$) vorgesehen ist.

10. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die dreichachsig drehbaren Gelenke (J_1 , J_2) als flexible Gelenke ausgebildet
sind.

5

11. Vorrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
das flexible Gelenk als elastisches Fasergelenk mit zwei starren, als
Fassungen ausgebildeten Gelenkenden und einem kurzen Stück
10 Fasermaterial als dazwischen liegendem Verformungsbereich ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Fasermaterial als Stahlseil ausgebildet ist.

15

1/5

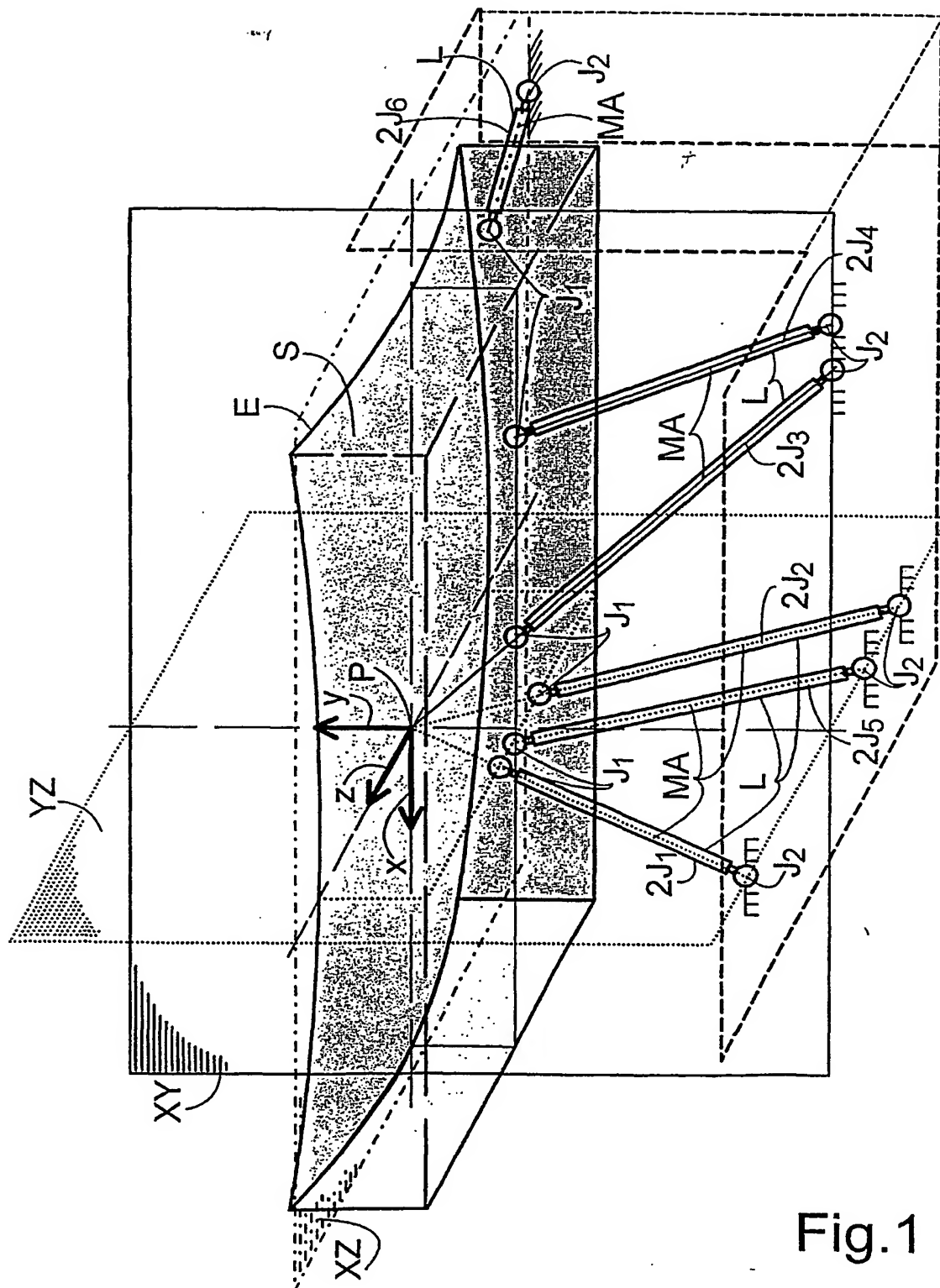
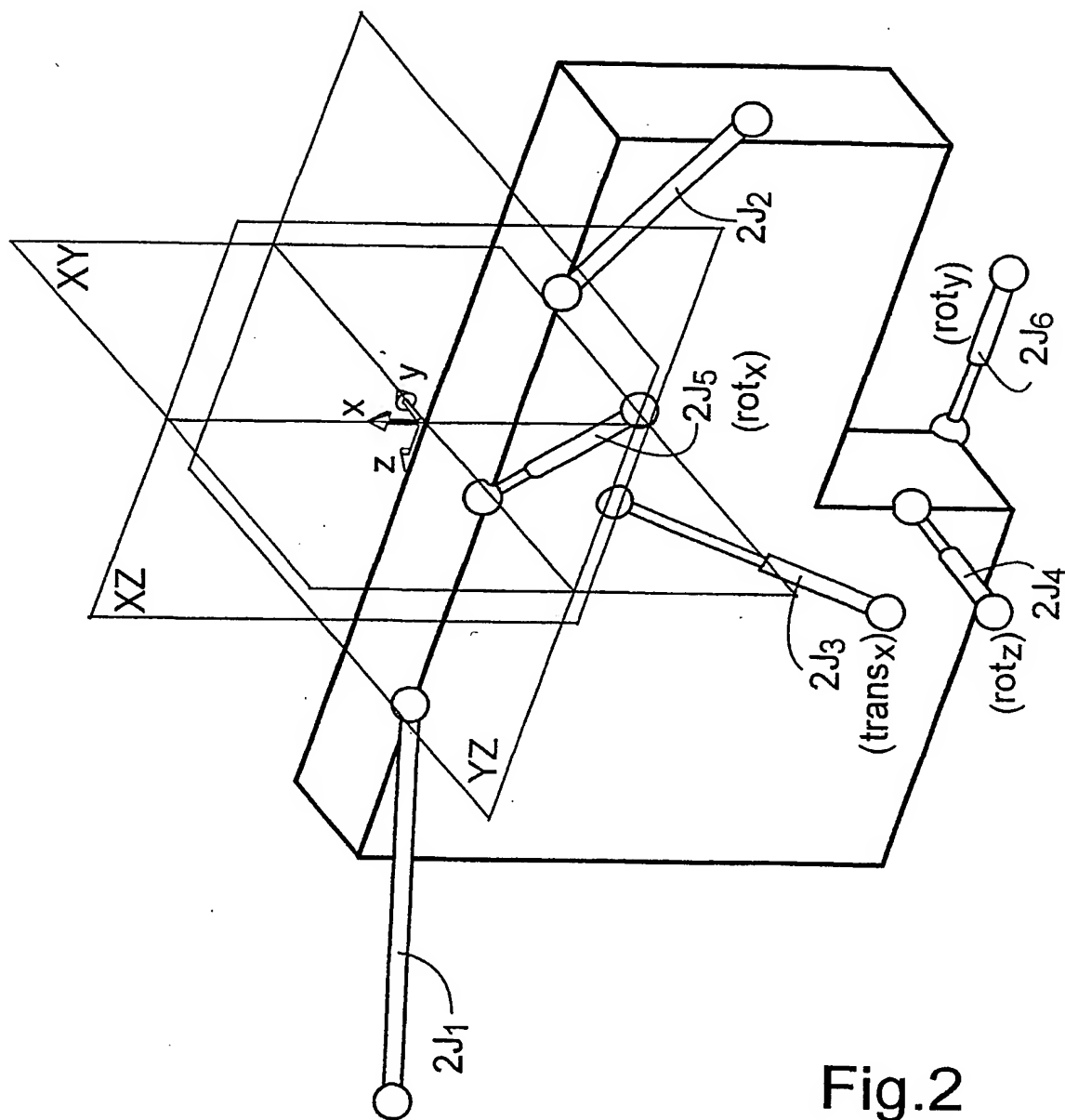
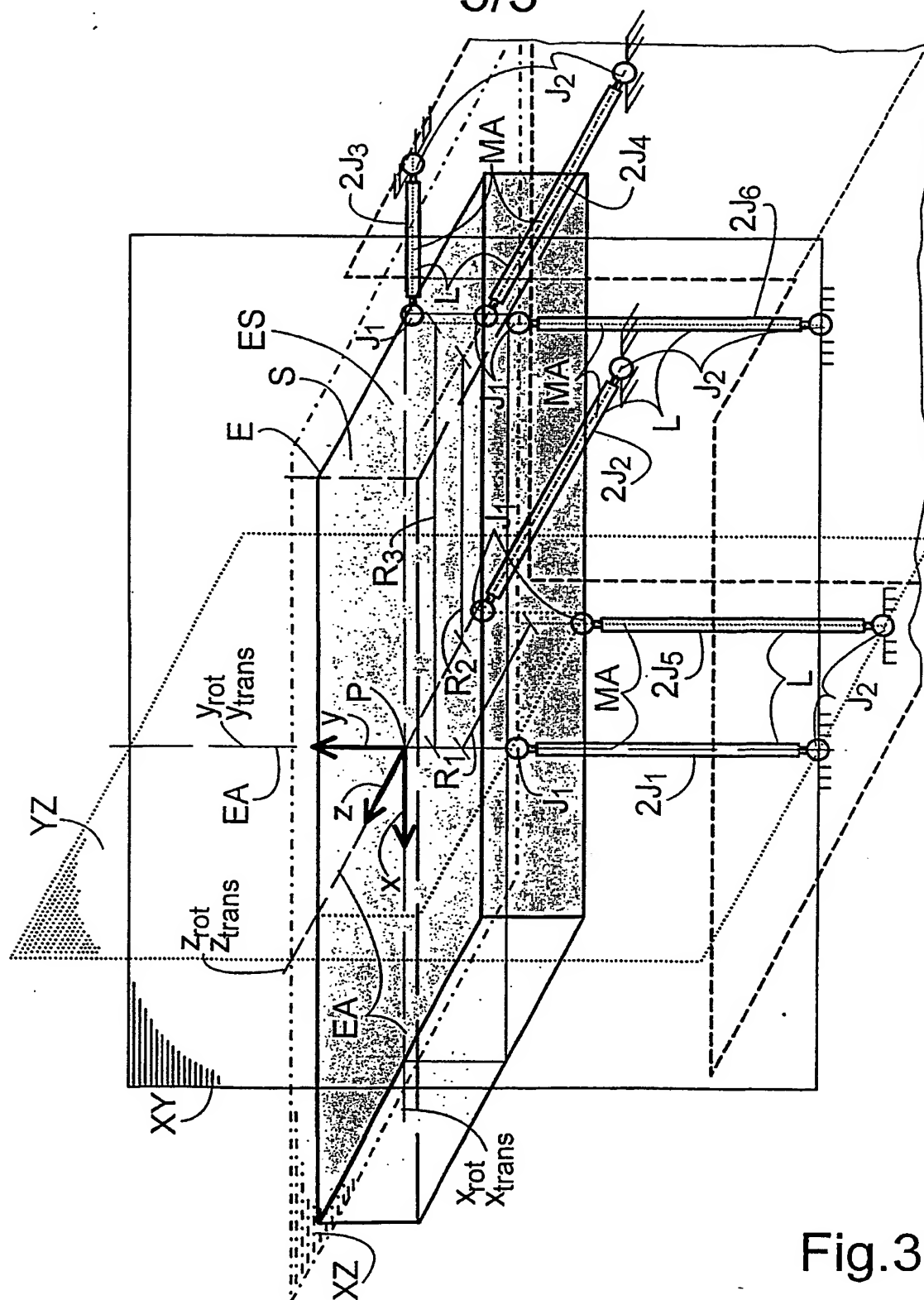


Fig. 1

2/5



3/5



4/5

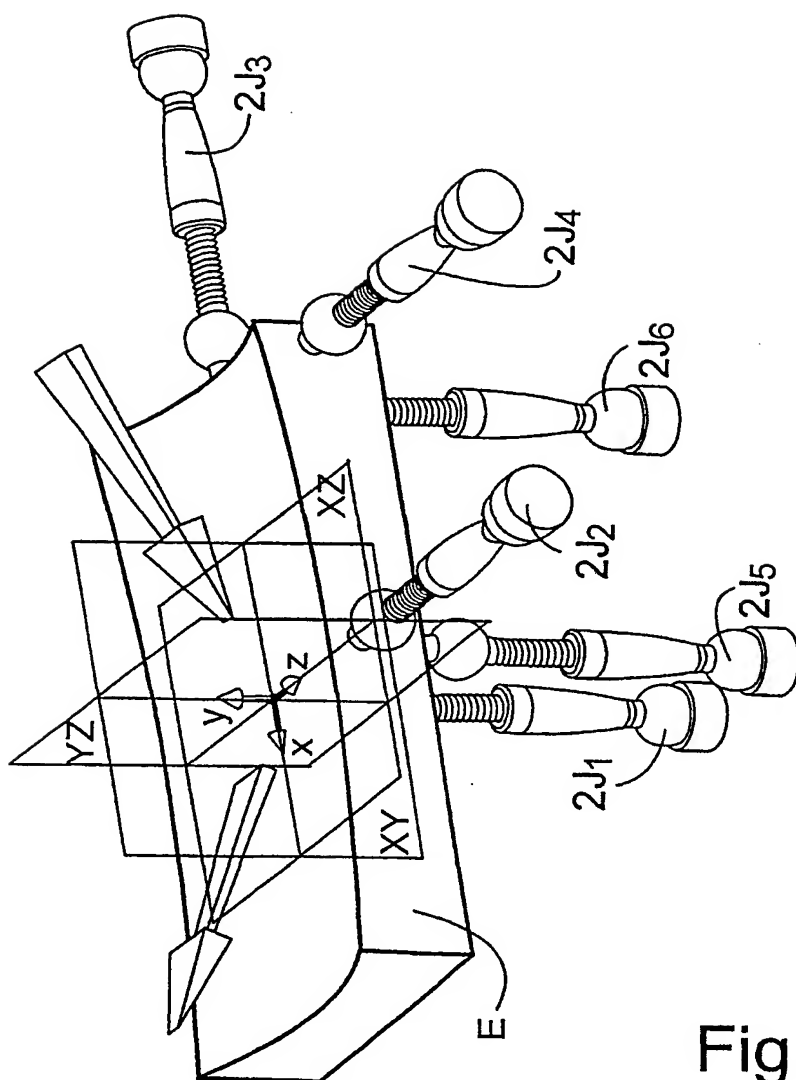


Fig.4

5/5

Ansteuerungsmatrix						
	2J ₁	2J ₂	2J ₃	2J ₄	2J ₅	2J ₆
x _{trans}			X			
x _{rot}					X	
y _{trans}	X				X	X
y _{rot}				X		
z _{trans}		X		X		
z _{rot}						X

Fig.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

WO 02/16092

PCT/DE PCT/DE01/03097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B25J17/02 B25J7/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B25J G09B G01M B23Q G02B F16M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NOBUHIKO HENMI ET AL: "A SIX-DEGREES OF FREEDOM FINE MOTION MECHANISM" MECHATRONICS, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, vol. 2, no. 5, 1 October 1992 (1992-10-01), pages 445-457, XP000297934 ISSN: 0957-4158 the whole document	1-12
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 164 (P-211), 19 July 1983 (1983-07-19) -& JP 58 071430 A (MITSUBISHI DENKI KK), 28 April 1983 (1983-04-28) abstract; figures 1-4 -/-	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2001

Date of mailing of the international search report

18/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lumineau, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No.
PCT/DE 01/03097

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 295 224 A (CAPPEL KLAUS L) 3 January 1967 (1967-01-03) column 2, line 68 -column 3, line 21; figure 1	1-3,8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int Application no

PCT/DE 01/03097

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
JP 58071430	A	28-04-1983	JP	1794877 C	28-10-1993
			JP	3075814 B	03-12-1991
US 3295224	A	03-01-1967	FR	1511683 A	17-04-1968